Ueber die

Erregbarkeit verschiedenartiger quergestreifter Muskeln.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doctorwürde

in der

Medicin, Chirurgie und Geburtshülfe

unter dem Präsidium

von

Dr. P. Grützner,

o. ö. Professor der Physiologie und Vorstand des physiologischen Instituts.

Der medicinischen Facultät in Tübingen

vorgelegt

von

Arthur Rösner,

approbirter Arzt aus Wohlau.

ACAD. LUGD. BAT. BIBL.

Tübingen 1900.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41552310_0175

Es ist bekannt, dass der quergestreifte Muskel sowohl mittelbar von seinem Nerven aus, wie unmittelbar durch die verschiedensten Reize in Erregung versetzt werden kann. Hierbei hat sich in mannigfachen Untersuchungen gezeigt, dass nicht jeder Reiz, welcher dem Muskel durch seinen Nerven zugeführt wird, auch den Muskel direct reizen kann, und umgekehrt[1]); es hat sich ferner für elektrische Reize ergeben, dass es andersartiger und meistens viel geringerer Reize bedarf, um den Muskel von seinem Nerven aus, als ihn direct zu reizen[2]). Im Allgemeinen hat er sich als ein trägeres Gebilde[3]), als der Nerv erwiesen, insofern er besser durch langsamere oder länger dauernde Reize getroffen wird als durch jähe oder schnelle. Schliesslich zeigte sich, dass nicht bloss verschiedene motorische Nerven, sondern auch die mit ihnen in Verbindung stehenden Muskeln sehr verschiedene Erregbarkeit darbieten. Namentlich ergaben physiologisch zusammengehörige Nervmuskelgruppen, bezw.- präparate, wie Beuger und Strecker, Oeffner und Schliesser diese auffälligen Unterschiede[4]).

---

1) W. Kühne, Ueber directe und indirecte Muskelreizung u. s. w. Archiv für Anat. und Physiol. S. 213. 1859.

2) J. Rosenthal, Ueber die relative Stärke der directen und indirecten Muskelreizung. Moleschott's Untersuchungen zur Naturlehre des Menschen und der Thiere Bd. 3 S. 185. 1857.

3) E. Brücke, Ueber den Einfluss der Stromesdauer u. s. w. Wiener Akad. Bericht Bd. 56 Abth. 2 S. 594. 1867. — A. Fick, Beiträge zur vergl. Physiol. d. irritabl. Substanzen. Braunschweig 1863 u. A.

4) J. W. Ritter, Beiträge zur näheren Kenntniss des Galvanismus etc. Bd. 2. Jena 1805. — A. Rollett, Sitzungsber. d. Wiener Akad. math.-naturw. Classe Abth. 3 Bd. 70 S. 7, Bd. 71 S. 33, Bd. 72 S. 349. 1874—1876. — P. Grützner, Ueber physiol. Verschiedenheiten der Skeletmuskeln u. s. w. Breslauer ärztl.

Auch fehlte es nicht an Angaben, dass verschiedene Muskeln in sehr verschiedener Art ihre Erregbarkeit verlieren. Die ältesten mir bekannten Angaben hierüber stammen von Ritter, der sich dahin äussert, dass „je mehr die thierischen Glieder absterben, um so mehr die Erregbarkeit der Beuger zurück- und die der Strecker hervortritt". Ferner erwähnt du Bois-Reymond[1]), dass der ausgeschnittene gastrocnemius und triceps femoris (vom Frosch) zehnmal länger am Leben bleiben als die regelmässigen Muskeln, wie der gracilis und semimembranosus. Der Unterschied dieser verschiedenen Lebensdauer liegt nach ihm nicht in der Masse der Muskeln oder in irgend welchen Verletzungen, sondern lediglich darin, „dass gastrocnemius und triceps sehr viel kürzere Fasern, dafür aber sehr viel grösseren Querschnitt haben, als gracilis und semimembranosus". „Der Grund, wesshalb die langfaserigen Muskeln kurzlebig, die kurzfaserigen langlebig sind, ist der, dass in ersteren alle Bündel vom Längsschnitt aus schädlichen Einflüssen schneller zugänglich sind, während das Innere der kurzfaserigen Muskeln, durch die derben Sehnenspiegel gegen Verletzung vom Querschnitt aus geschützt, vom Längsschnitt aus erst spät von den schädlichen Einflüssen erreicht wird."

Während aber du Bois-Reymond den Unterschied in dem Absterben dieser Muskeln lediglich in äusseren, gewissermaassen grob anatomischen Umständen findet, haben die oben erwähnten Untersuchungen gezeigt, dass gewisse Muskeln von Haus aus eine ihnen eigenthümliche indirecte und auch directe verschiedene Erregbarkeit besitzen und dass sie auch, wie spätere Untersuchungen[2]) thatsächlich ergaben, verschieden schnell absterben, indem z. B. die Beuger des Frosches früher der Todtenstarre verfallen als die Strecker.

Dieser Standpunkt wurde um so berechtigter, als man in fast allen Muskeln der verschiedensten Wirbelthiere zweierlei verschiedene Elemente auffand[3]), die namentlich bei dem Kaninchen und ver-

Zeitschr. Bd. 5 S. 189 und 257. 1883. — H. Osswald, Ueber das Ritter-Rollett'sche Phänomen. Pflüger's Arch. Bd. 50 S. 215. 1891. — W. Biedermann, Elektrophysiologie. Jena 1895.

1) E. du Bois-Reymond, Ges. Abh. Bd. 2 S. 329 u. 399. 1877.

2) Vgl. O. Langendorff, Zur Kenntniss der Muskelstarre. Pflüger's Arch. Bd. 55 S. 481, 1893 und W. A. Nagel, Exper. Unters. über die Todtenstarre u. s. w. Ebenda L l. 58 S. 279. 1894.

3) L. Ranvier, Leçons d'anatomie générale sur le système musculaire. Paris 1880. — P. Grützner, Recueil zoologique suisse I. serie, t. 1 p. 665

wandten Thieren als weisse und rothe am schärfsten und leichtesten von einander zu scheiden sind.

Da nun über die verschiedene Erregbarkeit dieser beiden Muskelarten, von denen die weissen innerhalb viel kürzerer Zeit absterben und sich dabei viel weniger zusammenziehen als die rothen [1]), noch verhältnissmässig wenig bekannt ist, machte ich mich auf Anregung und unter Leitung meines hochverehrten Lehrers, des Herrn Prof. Dr. P. Grützner daran, einige dahin gehende Fragen zu beantworten. Ich benutze die Gelegenheit, ihm für die liebenswürdige Unterstützung bei der Ausführung der Versuche (die ich der Hauptsache nach in den Osterferien 1899 und 1900 im physiologischen Institut zu Tübingen vornahm) und bei der Zusammenstellung der Thatsachen in vorliegender Arbeit auch an dieser Stelle meinen verbindlichsten Dank auszusprechen.

Zunächst wendete ich mich der Frage zu, wie verhält es sich mit der Erregbarkeit der rothen und weissen Muskeln gegenüber verschiedenen Reizen? Ich bespreche zunächst die indirecte Erregbarkeit vom Nerven aus, und zwar die elektrische.

A. Indirecte Erregbarkeit.

I. Elektrische Reizung.

Es ist sehr leicht zu zeigen, dass die indirecte elektrische Erregbarkeit dieser beiden Muskelgruppen, von denen die rothen, direct oder indirect mit Inductionsschlägen gereizt, bekanntlich langsam, aber im Tetanus sehr kräftig, die weissen dagegen stark und schnell erzitternd sich zusammenziehen [2]), ausserordentlich verschieden ist.

1884. — K. Bonhöffer, Ueber einige physiol. Eigenschaften dünnfas. od. dickfas. Muskeln u. s. w. Pflüger's Arch. Bd. 47 S. 125. 1890. — Ph. Knoll, Ueber protoplasmaarme und protoplasmareiche Musculatur. Denkschriften der Wiener Akademie, math.-naturw. Classe Bd. 58 S. 633. 1891 u. a. a. O. — J. Schaffer, Beiträge zur Histologie der quergestreiften Muskelfasern u. s. w. Wiener Akad.-Ber. Bd. 102 Abth. 3 S. 7. 1893, woselbst auch die anderweitige Literatur zu finden ist.

1) M. Bierfreund, Unters. über die Todtenstarre. Pflüger's Archiv Bd. 43 S. 195. 1888.

2) L. Ranvier, l. c. p. 202. — W. Kronecker u. W. Stirling, Die Genesis des Tetanus. Arch. f. (Anat. u.) Physiol. 1878 S. 1. — J. Th. Cash,

Dies gilt für die verschiedenen elektrischen Reize. Fast durchweg sah ich, dass sowohl der faradische wie constante Strom auf den durchschnittenen Hüftnerven von Kaninchen und Meerschweinchen angewendet, stets den weissen Muskel früher, d. h. bei geringerer Stromstärke reizte, als den rothen.

Folgende Versuche dienen als Beispiele.

Versuch 1.

Kräftiges, mittelgrosses, graues Kaninchen, ätherisirt. Gastrocnemius, Soleus und Peroneus blossgelegt nach Unterbindung einer am äusseren Rande des Wadenmuskels verlaufenden Vene. Da der Soleus unten mit dem Wadenmuskel verwachsen ist, kann man ihn ohne Verletzung unten nicht völlig frei machen. Hüftnerv von der Kniekehle aus präparirt, durchschnitten und abgebunden.

1. Reizung mit Inductionsströmen; Bernstein'scher Inductionsapparat ohne Eisenkern, schwingender Hammer, 1 Leclanché. (Mit Eisenkern waren die Ströme der secundären Rolle noch ausserhalb des Schlittens stark wirksam.)

Bei einem Rollenabstand von 28,5 cm zittern die verschiedenen weissen Muskeln des Unterschenkels; erst bei 22—23 cm Rollenabstand zieht sich der rothe Soleus langsam zusammen.

2. Reizung mit constanten Strömen. 2 kleine Daniells, Siemen's Rheostat im Nebenschluss, einfache Elektroden von Zink.

Erste Zuckung in den weissen Muskeln bei $S\downarrow$ und 0,1—0,2 Siemens-Widerstand (SW) im Nebenschluss.

Erste langsame Zuckung des Soleus bei $S\downarrow$ und 0,4—0,5 SW.

Keine Oeffnungszuckungen bei diesen Strömen. $S\uparrow$ unwirksam.

$\ddot{O}\uparrow$ bei 0,4 SW nur weiss,

$\ddot{O}\uparrow$ bei 0,5 SW weiss und roth.

Dieser Versuch dauerte einschliesslich der Präparation einige 20 Minuten.

Versuch 2.

Bei einem anderen ausgewachsenen Kaninchen, das in gleicher Weise zum Versuche vorbereitet war, wurde der freigelegte Hüftnerv hoch oben mit einzelnen Inductionsschlägen gereizt. Unmittelbar nach Durchschneidung und Unterbindung desselben besteht für beide Muskeln eine sehr hohe Erregbarkeit.

Es scheinen die rothen sogar ein wenig erregbarer zu sein als die weissen. Nach einigen Minuten ändert sich das Verhältniss, die weissen beginnen zu zucken bei $RA = 21$ cm, die rothen bei $RA = 17$ cm (der Eisenkern war entfernt). Bei anderer Stromrichtung waren die entsprechenden Zahlen für die

---

Der Zuckungsverlauf als Merkmal der Muskelart. Ebenda 1880. Suppl. S. 147 und P. Grützner, Zur Muskelphysiologie. Breslauer ärztl. Zeitschrift Bd. 9 S. 1. 1887.

weissen RA = 32 cm, für die rothen 28 cm. Vielfache Wiederholungen der Versuche ergaben ähnliche Zahlen.

Ohne Weiteres kann man bei den Versuchen mit constanten Strömen und einzelnen Inductionsschlägen die ausserordentlich viel grössere Latenz des rothen Muskels beobachten. Erst zuckt in Folge dieser einmaligen Reize schnell und sofort der weisse und bald hinterher, d. h. nach dem Bruchtheil einer Secunde, der rothe. Der Versuch ist, wenn man ihn zum ersten Male sieht, überraschend und eignet sich wegen seiner Einfachheit und Sicherheit zum Vorlesungsversuch.

Ich brauche wohl kaum zu erwähnen, dass ich in mehrfachen ähnlichen Versuchen — und an einem Kaninchen kann man ja zwei derartige Versuchsreihen anstellen — immer dieselben Erscheinungen beobachten konnte. Die indirecte Erregbarkeit der weissen Muskeln gegenüber elektrischen Reizen war stets höher als die der rothen. So waren bei einigen ganz ähnlichen Versuchen die entsprechenden Zahlen folgende:

Versuch 3—5.

Bei Reizung mit tetanisirenden Inductionsströmen reagirten die weissen Muskeln Gastrocnemius und Peroneus bei RA = 24 cm, der rothe (Soleus) bei RA = 15 cm.

Bei Reizung mit constanten Strömen zuckten die

weissen	Muskeln	bei	$S\downarrow$ und	0,5 SW
rothen	„	„	$S\downarrow$ „	0,7 SW
weissen	„	„	$\ddot{O}\uparrow$ „	0,5 SW
rothen	„	„	$\ddot{O}\uparrow$ „	1,5 SW

$S\uparrow$ war unwirksam.

Bei einem vierten Versuch wirkten die tetanisirenden Inductionsströme auf die weissen Muskeln bei RA = 45 cm,
„ „ rothen „ „ RA = 32 cm.

Der Eisenkern befand sich in der Spule.

Bei $S\downarrow$ und $\ddot{O}\uparrow$ constanter Ströme und 0,5 SW zuckte der weisse Muskel deutlich, während der rothe ruhig blieb.

Ein weiterer (fünfter) Versuch sei noch als Beispiel mitgetheilt, weil dieser ein ausserordentlich kräftiges, lebhaftes, männliches Kaninchen betraf, das im Uebrigen, wie alle anderen mit Aether narkotisirt war; die Vorbereitungen waren wie bei den früheren Versuchen.

1. Die indirecte Reizung mit tetanisirenden Inductionsströmungen wurde wirksam bei den
weissen Muskeln bei 19 cm RA (bezw. nach längerer Reizung bei 12 cm),
rothen „ „ 16 cm RA („ „ „ „ „ 11 cm).

2. Mit constanten Strömen (Zinkelektroden) reagirten unmittelbar nach Durchschneidung des Nerven, der dann eine ausserordentlich hohe Erregbarkeit

zeigte, sowohl die weissen, wie die rothen bei nahezu gleicher und sehr geringer Stromstärke nämlich für $S\downarrow$ bei 0,2 SW; später bei 0,4 SW.

„ $\ddot{O}\uparrow$ „ 0,5 SW.

$S\uparrow$ war unwirksam.

Später nach 5—10 Minuten reagirten

bei $S\downarrow$ 0,5 SW nur die weissen Muskeln,

„ $S\downarrow$ 0,7 SW auch „ rothen „

„ $\ddot{O}\uparrow$ 0,9 SW nur „ weissen „

„ $\ddot{O}\uparrow$ 1,0 SW auch „ rothen „

„ $S\uparrow$ 1,0 SW weder die weissen, noch die rothen.

3. 40 Minuten nach Beginn der Präparation, die etwa 1/4 St. in Anspruch genommen hatte, werden die Wechselströme der Stöhrer'schen Maschine, in deren Stromkreis der Siemens'sche Rheostat im Nebenschluss eingeschaltet ist, auf den Nerven angewendet. Die Erregbarkeit des Nerven in der unmittelbaren Nähe des Querschnittes war schon bedeutend gesunken. Es ergab sich, dass

die weissen Muskeln bei 10 SW,

„ rothen „ „ 15 SW zuckten.

Auch bei Anwendung der Extracurrenten ergaben sich ähnliche Zahlen.

4. Etwa 1 Stunde nach Beginn der Präparation wird der zweite Unterschenkel zum Versuch hergerichtet. Es ergaben sich aus mehreren Versuchen folgende Mittelzahlen:

Mit Inductionsströmen gereizt

zittern die weissen bei $RA = 24$ cm,

ziehen sich zusammen „ rothen „ $RA = 20$ cm.

Mit constanten Strömen $S\downarrow$ gereizt

zucken die weissen bei 0,4 SW,

„ „ rothen „ 0,5 SW.

Mit den Wechselströmen der Stöhrer'schen Maschine gereizt, reagiren die weissen bei 6,3 SW; die rothen sind ruhig.

Das Ergebniss dieser und vieler anderer Versuche dürfte sonach lauten, dass im Allgemeinen die weissen Muskeln von ihren Nerven aus leichter, d. h. durch schwächere elektrische Reize zu erregen sind, als die rothen. Nur wenn kurz nach der Durchschneidung des Nerven eine überaus hohe Erregbarkeit des Nerven vorhanden ist, liess sich ein Unterschied kaum nachweisen. Bei allen einmaligen Reizungen fällt auf, dass der rothe Muskel ausserordentlich viel später als der weisse seine im Uebrigen sehr langsame und unbedeutende Zuckung ausführt.

Man könnte vielleicht noch einwenden, dass die schwache Zusammenziehung des rothen Muskels von uns hin und wieder übersehen worden sei. Ich glaube indessen, dass dies nicht der Fall war;

denn während gereizt wurde, beobachteten mehrere Personen, regelmässig auch Herr Prof. Grützner, den rothen Muskel. Man konnte an ihm ausser etwa mitgetheilten Erschütterungen nicht die geringste eigene Bewegung wahrnehmen.

Wenn man freilich auf die langsamen Contractionen des Soleus nicht ganz besonders achtet, entgehen sie einem sicher. Wenigstens hat sie meines Wissens kein Forscher, der den Ischiadicus vom Kaninchen elektrisch reizte, jemals beschrieben oder erwähnt. Auch Eckhard[1]), der eigens die erregende Wirkung des constanten Stromes auf den Ischiadicus des Kaninchens untersuchte und dabei fand, dass stärkere absteigende Ströme einen dauernden Tetanus in den Unterschenkelmuskeln zur Folge haben, erwähnt dieser verspäteten Zuckung des rothen Muskels mit keinem Wort, sondern sagt vielmehr: „Zwischen den beiden verschieden gefärbten Muskelarten habe ich bei der bisher geübten Beobachtungsweise keine wesentlichen Unterschiede gefunden. Kleinere, durch Anwendung feinerer Methoden auffindbare mögen existiren".

Im Uebrigen sei bemerkt, dass, wenn man irgend wie stärkere Reizströme anwendet, wie dies Eckhard gethan, man diese Doppelzuckungen selbst bei genauer Beobachtung des Soleus in Folge der starken Erschütterungen der grossen Muskelmassen kaum wahrnehmen kann.

Ich gebrauchte vier kleine Daniells und einen Widerstand im Nebenschluss von 50 Siemens-Einheiten, um bei Reizung mit absteigenden Strömen den von Eckhard beschriebenen Tetanus deutlich ausgeprägt zu sehen. Verwendet wurden einfache Zinkelektroden.

Da nach den Anschauungen von Grützner[2]) die rothen und weissen, bezw. die langsamen und schnellen Muskeln nicht bloss eine auf das Kaninchen beschränkte Rarität oder Curiosität darstellen, sondern ähnliche, physiologisch verschiedene Muskelarten sich bei den verschiedensten Kalt- und Warmblütern und auch beim Menschen finden, so war es von Interesse, festzustellen, ob man nicht auch beim Menschen durch Reizung des Nervus tibialis die Zuckung der

---

1) C. Eckhard, Zur Kenntniss der erregenden Wirkungen des constanten Stromes. Beiträge zur Anatomie und Physiologie Bd. 12 S. 223. 1888.

2) Siehe oben S. 4, Anm. 3.

weissen und rothen Wadenmuskeln neben- oder hintereinander beobachten könnte.

Herr Prof. Grützner machte mir von folgenden Versuchen Mittheilung, in denen es in der That gelang, eine Doppelzuckung vom menschlichen Wadenmuskel aus zu erzielen. Der Versuch wurde in folgender Weise angestellt. Die Versuchsperson hatte sich den einen (rechten) Schenkel entblösst und sass auf dem Rande eines Tisches, den Fuss des zum Versuch bestimmten Schenkels leicht auf einen Stuhl gestützt, oder frei herabhängend. Auf verschiedenen Stellen des Wadenmuskels wurde eine Marey'sche Trommel, wie man sie zum Aufschreiben des Herzstosses verwendet, aufgesetzt. Am einfachsten drückte sie ein Assistent mit der Hand auf den Wadenmuskel fest; sie stand natürlich mit einer Marey'schen Zeichentrommel in Verbindung. Die eine indifferente Elektrode wurde auf die Vorderfläche des Oberschenkels gesetzt, die andere differente in die Kniekehle auf den Tibialis. Die Reizung geschah gewöhnlich mit Oeffnungsinductionsschlägen.

Wenn die Elektroden gut sitzen und die Zuckung im Wadenmuskel ausreichend stark ist — absolut genommen ist sie nur schwach und streckt den Fuss nur ganz wenig —, so fühlt die Versuchsperson häufig die Doppelzuckung; auch der die Aufnahmetrommel haltende Assistent kann sie nicht selten wahrnehmen.

Folgende Curven sind auf diese Weise gewonnen. Sie können nach der Anschauung von Herrn Prof. Grützner nicht anders aufgefasst werden, als bedingt durch die auf einander folgenden Zuckungen des schnellen weissen und des langsamen rothen Muskels, die durch einen Schlag vom Nerven gereizt, eine Doppelzuckung zur Folge haben müssen.

Fig. 1 zeigt eine Reihe solcher Doppelzuckungen, bei denen die Aufnahmekapsel etwa in der Mitte der Wade sass. Die Zeitmarken bedeuten Fünftel-Secunden. Fig. 2 zeigt eine andere, bei der sie an ihrem äusseren oberen Rande sass, dort, wo sich an der Fibula der Soleus ansetzt und ein wenig unter dem Gastrocnemius hervorragt. Die Zeitmarken bedeuten Secunden.

Nach Ranvier (l. c. S. 210) ist das Stadium der Latenz für den rothen Muskel unter sonst gleichen Umständen etwa neun Mal so lang, als für den weissen. Es betrüge also nahezu $^1/_{10}$ Secunde, wenn man die Latenz des weissen zu $^1/_{100}$ annimmt. In den umstehenden Curven finden sich vielfach viel kürzere Latenzen, was

nicht Wunder nehmen darf, da ja die Latenz von der Frische des Muskels und der Reizstärke abhängt.

Fig. 1.

Fig. 2.

Fig. 3.

Wurde der Wadenmuskel direct gereizt, indem beide Elektroden auf ihn gesetzt wurden, so waren die Curen eingipfelig (s. Fig. 3);

denn der Reiz trifft nur die oberflächlichen Fasern, die der Hauptsache nach schnelle sein dürften. (Die nachträglichen Erhebungen haben natürlich mit der Zuckung selbst nichts zu thun.)

Es wird nicht nötig sein, noch mehr Curven, die von anderen Personen gewonnen wurden und durchaus dieselben oder ganz ähnliche Verhältnisse zeigten, hier vorzulegen. Schon aus den obigen ist der Schluss zu ziehen, dass die Zuckungscurve, eigentlich Dickencurve des menschlichen Wadenmuskels eine deutlich zweigipflige ist.

Die Thatsache ist aber nur festzustellen, wenn man die Schleuderung grosser Massen vermeidet. Herr Prof. Grützner hat sich vergeblich bemüht, aus den Bewegungen des Fusses die Zuckungscurven des Wadenmuskels zu erhalten: der geschleuderte Fuss zeigt die Feinheiten der Bewegungen nicht mehr, oder vielleicht nur unter ganz besonderen Bedingungen.

Auch gelang es uns nicht, beim Kaninchen eine zweigipflige Zuckungscurve des gesammten Wadenmuskels zu gewinnen. Der freipräparirte Hüftnerv wurde durch inducirte oder constante Ströme gereizt, durch die Achillessehne war ein Haken gesteckt, der ein durch eine Feder gespanntes Myographion — Gewichte sind natürlich hierbei ganz unbrauchbar — in Bewegung setzte. Die Zuckung der grossen schnellen Muskelmasse ist so bedeutend, dass die geringfügige Zusammenziehung des rothen Soleus sich dagegen nicht bemerklich machen kann. Wie geringfügig in der That diese Contraction ist[1]), davon kann man sich leicht überzeugen, wenn man den Gastrocnemius von der Achillessehne abtrennt und nur den Soleus allein seine Zuckungen aufzeichnen lässt.

Da im rothen Muskel alle physiologischen Vorgänge, wahrscheinlich auch die elektrischen, sich verhältnissmässig langsam abspielen, langsam verlaufende elektrische Reize aber in ganz anderer Weise (bei den gewöhnlich untersuchten Gebilden, motorischen Nerven und quergestreiften Muskeln, nach den bekannten Darlegungen von du Bois-Reymond viel schwächer) wirken als schnell verlaufende, so war es nicht ohne Interesse, die secundär elek-

---

1) Vgl. P. Grützner in Recueil Suisse, l. c. S. 674 und R. Tigerstedt, Archiv f. (Anat. u.) Physiol. 1885. Suppl. S. 113 (207).

trischen Wirkungen eines tetanisirten weissen oder eines tetanisirten rothen Muskels zu untersuchen.

Herr Prof. Grützner hatte bereits früher derartige Versuche, über welche seiner Zeit eingehend berichtet werden wird, angestellt. Die Ergebnisse dieser und meiner Versuche, soweit uns dieselben hier angehen, sind im Wesentlichen folgende. Es gelingt sowohl vom weissen als auch vom rothen Muskel, secundäre Zuckung und secundären Tetanus zu erzeugen. Es ist aber sehr schwer zu sagen, welcher von beiden Muskeln sich besser dazu eignet. Wenn man bedenkt, dass kleine Verletzungen eines Muskels die abgeleiteten Actionsströme in allerhöchstem Maasse beeinflussen, dass weiterhin sehnige Bedeckungen desselben, sowie eine geringe Verschiebung oder Verlagerung des Nerven ebenfalls, wenn auch in ganz anderer Art, hierauf einwirken, so ist der verschiedene Erfolg im Grunde genommen nicht zu verwundern; denn es kommt ja doch immer auf die Stärke derjenigen Actionsströme an, welche in den Nerven des Froschpräparates eintreten.

Legte man daher den frisch präparirten Hüftnerven des Froschpräparates, welches aus dem Knochenstumpf des Oberschenkels und dem ganzen Unterschenkel bestand, auf den Peroneus, Gastrocnemius, oder Tibialis, die von dem oberen Ende des Hüftnerven aus tetanisirt wurden, so gerieth der Unterschenkel des Frosches in klonische oder tonische Zusammenziehungen. Dies trat aber, wie gesagt, keineswegs immer ein. Man musste immer etwas probiren, um des Erfolges sicher zu sein.

Legte man jetzt den Froschnerven auf den Soleus, so erhielt man, so schien es uns wenigstens in den ersten Versuchen, oft stärkere Wirkungen. Ein äusserlich geringfügiger Tetanus des rothen Muskels erzeugte einen gewaltigen secundären Tetanus. Aber je häufiger man die Versuche — auch mit frischen Froschpräparaten — wiederholte, um so mehr schien die secundäre Wirkung des rothen Muskels zurückzugehen und die des weissen dem zu Folge sich deutlicher bemerkbar zu machen. Wenigstens sahen wir gar nicht selten, dass nach längeren Versuchen selbst der stärkste Tetanus des rothen Muskels auch nicht eine Spur eines secundären Tetanus zur Folge hatte, während vom weissen noch sehr gut secundäre Erfolge erzielt werden konnten.

Es mag hier darauf hingewiesen sein, dass wir auch bei indirecter elektrischer Reizung ganz im Anfang den rothen Muskel

manchmal ein wenig erregbarer gefunden haben als einige Minuten später. In Folge der Präparation scheint der rothe Muskel eine ganz kurze Zeit in erhöhte Erregbarkeit zu gerathen oder vielleicht auch nach einiger Zeit in Folge der stärkeren Abkühlung in seiner Erregbarkeit zu sinken.

II. Mechanische Reizung.

Nicht ohne Interesse ist auch die mechanische Reizung, die einfach in der Weise ausgeführt wurde, dass man entweder mit einem kleinen Hämmerchen auf den Nerven schlug, welcher auf einer kleinen Glasplatte horizontal ausgebreitet lag, oder Gewichte auf ihn herabfallen liess. In ausserordentlich vielen Versuchen konnte festgestellt werden, dass durch diese Erschütterungen die meisten Muskeln schnell zuckten, der rothe Soleus aber immer ganz ruhig blieb. Mehrere Beobachter fassten den Soleus während des Schlages scharf ins Auge. Keiner von ihnen aber konnte, wenn schon viele weisse Muskeln deutlich und stark zuckten, an dem Soleus auch nur die geringste von ihm selbst ausgehende Bewegung wahrnehmen. Häufig wird er freilich bei diesen Versuchen durch die Zuckung der ihm benachbarten Muskeln mit erschüttert und mit bewegt, indessen diese Bewegungen erfolgen alle schnell und gehen nicht von ihm aus.

Erst wenn die Schläge stärker werden, sieht man deutlich, wie nach Ablauf oder nach Beginn der schnellen Zuckungen auch der rothe eine langsame Zuckung ausführt. Hierbei verändert er in charakteristischer Weise ein wenig seine Lage und namentlich seine Gestalt.

Ob verschiedene Arten mechanischer Reizung, wie sie Eickhoff[1]) kürzlich im hiesigen Institut untersucht hat, ob namentlich die Schnelligkeit des sich bewegenden Hämmerchens bei gleicher Energie verschiedene Erfolge bedingt, darüber fehlte es mir leider an Zeit, genaue Untersuchungen anzustellen.

Um dem Leser ein ungefähres Urtheil über die Grösse der von uns angewendeten Energien zu geben, seien folgende Versuche mitgetheilt.

---

1) K. Eickhoff, Ueber die Erregbarkeit der motorischen Nerven u. s. w. Pflüger's Archiv Bd. 77 S. 156. 1899.

Versuche vom 29. März 1900.

Kräftiges männliches Kaninchen, um 3^h 20′ aufgebunden und mit Aether narkotisirt; Blosslegung der Wadenmuskeln von der äusseren Seite des Unterschenkels und des Hüftnerven vom Oberschenkel aus. Unterbindung desselben möglichst hoch oben, etwa im oberen Drittel des Oberschenkels. Elektrische Reizung des Hüftnerven. Um 4^h Beginn der mechanischen Reizung.

Der Nerv liegt mässig ausgespannt in einem horizontal stehenden flachen Korkkästchen, und zwar in einer flachen Rinne seines Bodens auf Fliesspapier, das mit physiologischer Kochsalzlösung getränkt ist; ein kleines Deckgläschen liegt auf dem Nerven. Eine Schrotkugel von 0,75 g fällt aus verschiedener Höhe auf dasselbe herab. Je nachdem die Kugel den Nerven mehr oder weniger gut trifft, zucken verschiedene weisse Muskeln schnell bei einer Fallhöhe von 2—5 cm. Der Soleus bleibt hierbei ganz ruhig. Erst bei einer Fallhöhe von 8—10 cm zuckt deutlich der rothe kurze Zeit nach den weissen, die sich dann natürlich in grösserer Anzahl an der Zuckung betheiligen und stärker zucken.

Ein ähnlicher Versuch mit einem kräftigen männlichen Meerschweinchen ergab das Nämliche. Der Nerv lag auf einer Glasplatte, über welche zwei mit physiologischer Kochsalzlösung getränkte Schichten von Fliesspapier ausgebreitet waren, und hatte auf sich ein kleines Deckgläschen. Auf dieses fielen die Kugeln von 0,2 und 0,5 g. Die weissen zuckten schon bei einer Fallhöhe der kleineren Kugel von 2—3 cm (0,4—0,6 gcm). Erst bei einer Fallhöhe von ca. 5 cm zuckte der rothe Muskel. Liess man das schwerere Gewicht von 1—2 cm Höhe (0,5—1 gcm) auf den Nerven fallen, so zuckten beiderlei Muskeln. Schlug man mit einem kleinen Hämmerchen auf den Nerven, so genügte ein sehr schwacher Schlag, um verschiedene weisse Muskeln schnell zucken zu lassen; erst viel stärkere Schläge setzten den rothen in Bewegung.

III. Chemische Reizung.

So vielfache Untersuchungen über die chemische Reizung von Froschnerven vorliegen, so selten sind, wie es scheint, die Nerven von Säugethieren chemisch gereizt worden. Es ist dies wegen der damit verbundenen Umständlichkeiten einerseits und wegen der ausserordentlich bequemen chemischen Reizung des Froschnerven andererseits wohl meistens nur gelegentlich geschehen, obwohl man doch so ohne Weiteres einen Säugethiernerven einem Froschnerven nicht gleich setzen sollte.

H. Vierordt[1]) berichtet über Reizung des N. vagus mit concentrirter Kochsalzlösung. Die Angaben hierüber scheinen mir so beachtenswerth, dass ich sie kurz mittheilen will.

Einer Katze, deren rechtes Stimmband bei der Stimmgebung eine minimale Concavität zeigte, also mit seinem inneren Rand nicht

1) H. Vierordt, Beiträge zur experimentellen Laryngoskopie. Dissertation Tübingen 1876. S. 27.

genau linear verlief, wurde „rechterseits der N. vagus unterhalb des Kehlkopfes blossgelegt und mit einer gesättigten Kochsalzlösung bepinselt, von welcher heftige Wirkungen zu erwarten waren; die alsbald vorgenommene laryngoskopische Untersuchung ergab keine Spur von Reizerscheinungen, sondern das Bild der einseitigen Recurrenslähmung. — „Schon 15 Minuten nach Application der Salzlösung machte sich eine schwache Beweglichkeit des rechten Aryknorpels bemerklich, die auffallend rasch, inerhalb einer Minute, dem normalen Zustand Platz machte. Die Intonationsstimmritze zeigte wieder die eingangs beschriebene Form, und die Töne waren höher und reiner geworden."

„Der rechte Vagus wurde nun zum zweiten Male, und zwar reichlicher, mit derselben Kochsalzlösung bepinselt. . . . . Die Wirkung des Kochsalzes war, wie bei der ersten Application, eine Recurrenslähmung, aber intensiver als das erste Mal. Zwar waren schon nach ungefähr 15 Minuten die anfangs tieferen und heiseren Töne etwas höher und reiner geworden; am gelähmten Stimmband aber zeigte sich 25 Minuten nach dem Bepinseln noch keine Aenderung. — Die nach einer Pause von 35 Minuten, also eine Stunde nach der (zweiten) Bepinselung vorgenommene laryngoskopische Untersuchung ergab eine wesentliche Besserung", die im Laufe der folgenden Tage bis zu völlig normalem Befund zunahm.

Bei einer zweiten, männlichen grösseren Katze wurde ein ähnlicher Versuch angestellt, nur war die chemische Reizung noch kräftiger, indem der Nerv anfangs 3 Minuten mit gesättigter Kochsalzlösung bepinselt, später mit fein gepulvertem Kochsalz imprägnirt wurde, „das noch nicht gelöste Salz wurde mittelst eines Wasserstromes entfernt und das Thier wenige Minuten nach der Application des Salzes laryngoskopirt". . . . . Aryknorpel und Stimmband waren auf der operirten Seite „ganz unbeweglich und der Medianlinie genähert".

Die concentrirte Kochsalzlösung hatte also auf die motorischen Aeste des Vagus nach der gewöhnlichen Bezeichnungsweise überhaupt gar nicht erregend gewirkt, sondern dieselben nur gelähmt. Vierordt erwähnt nirgends, dass er irgend welche zitternde oder tetanische, durch die chemische Reizung des Nerven erzeugte Bewegungen des betreffenden Stimmbandes gesehen habe. Vielleicht würde eine Durchschneidung des Nerven und nachherige Reizung mit Kochsalz andere Ergebnisse geliefert haben.

Dann hat Bernstein[1]) den Hüftnerven des Kaninchens in ein Näpfchen mit concentrirter Kochsalzlösung gelegt und den dabei entstehenden Tetanus beobachtet. Er fand, „dass nach voller Ausbildung des Tetanus über dem Muskel ein deutliches Muskelgeräusch, einem tiefen Ton entsprechend, wahrgenommen werden konnte, abgesehen von Reibegeräuschen, welche von Einzelzuckungen herrührten. Der Ton war von dem natürlichen Muskelton durch das Gehör nicht zu unterscheiden und glich wie dieser nach dem Ausdrucke von Haughton dem Rollen eines in der Ferne über das Steinpflaster schnell fahrenden Wagens".

Bernstein deutet diese merkwürdige Erscheinung so, dass auch durch den anhaltend wirkenden chemischen Reiz der Nerv doch in seiner gewöhnlichen Periode erregt wird, etwa wie eine Lippenpfeife, die — natürlich innerhalb gewisser Grenzen — stark oder schwach angeblasen, immer in der Periode ihres Eigentones erklingt.

Ferner sind mir noch Untersuchungen von Grützner[2]) über die chemische Reizung von Säugethiernerven bekannt, der die gesättigte Kochsalzlösung auf motorische Nerven (Ischiadicus) so wie Bernstein wirksam, auf centripetale Nerven (Vagus) dagegen so gut wie unwirksam fand.

Wenn ich schliesslich noch auf die bekannten Versuche von Schiff[3]) und namentlich von Heidenhain[4]) über das sogenannte Motorischwerden des Lingualis nach Durchschneidung des Hypoglossus hinweise, so dürften die chemischen Reizversuche am Säugethiernerven so ziemlich[5]) erschöpft sein. Genannte Forscher fanden nämlich, dass der Hypoglossus mit gesättigter Kochsalzlösung bezw. mit Kochsalz in Substanz gereizt, zuerst Flimmern, dann einen förmlichen Tetanus der betreffenden Zungenhälfte erzeugte, dass dagegen wie Heidenhain feststellte, der Lingualis mit der Chorda tympani in

1) J. Bernstein, Ueber die Höhe des Muskeltones etc. Pflüger's Arch. Bd. 11 S. 195. 1875.

2) P. Grützner, Ueber verschiedene Arten der Nervenerregung. Pflüger's Archiv Bd. 17 S. 250. 1878 und Ueber die chem. Reizung sens. Nerven. Ebenda Bd. 58 S. 69 (98). 1894.

3) M. Schiff, Lehrbuch der Muskel- und Nervenphysiologie. Lahr 1858 bis 1859. S. 177.

4) R. Heidenhain, Ueber pseudomotor. Nervenwirkungen. Archiv für (Anat. u.) Physiol. 1883. Suppl. S. 133 (152).

5) Vgl. noch E. Werthe mer, Archives de physiol. 5me série t. 2 p. 790. 1890.

gleicher Weise chemisch gereizt, „niemals auch nur spurweise Zusammenziehung“ der Zungenmusculatur zur Folge hatte, obwohl Inductionsströme, auf den Lingualis angewendet, die betreffende Zungenhälfte in deutliche Bewegung versetzten, natürlich nur, wenn der Hypoglossus einige Tage vorher durchschnitten war.

Wenn man bei einem Kaninchen oder Meerschweinchen den Ischiadicus und die Wadenmusculatur in oben beschriebener Weise blosslegt, dann den durchschnittenen Ischiadicus in Watte, die mit gesättigter Kochsalzlösung getränkt ist, einbettet und so auf eine Glasplatte legt, indem man natürlich sorgfältig darauf achtet, dass die Kochsalzlösung nicht auf benachbarte Muskeln überfliesst, so beobachtet man in der Regel Folgendes.

Je nach der Erregbarkeit des Nerven und der Länge des eingebetteten Stückes, die bei uns 1,5—2 cm betrug, beginnen nach 1—2 Minuten Flimmern und Bewegungen in dem Peroneus, bald darauf im Gastrocnemius und den andern tiefen Muskeln des Unterschenkels. Der Soleus rührt sich nicht. Endlich nach 6—7 Minuten beginnt ein leises Wogen in diesem rothen Muskel, während um diese Zeit in den übrigen Muskeln des Unterschenkels schon eine gewaltige Unruhe sich bemerklich macht, die das ganze Glied hin und her stösst. Setzt man die Reizung noch weiter fort — was ich nur einige Mal gethan habe — so folgen die einzelnen Erregungen immer schneller auf einander und schliesslich bildet sich ein allerdings nicht gerade vollkommener, ziemlich unruhiger Tetanus aus.

Es mag darauf hingewiesen sein, dass auch bei diesen Versuchen, wie bei ähnlichen von Osswald[1]) an Fröschen, die Reihenfolge, in welcher die Muskeln von den Zuckungen befallen wurden, eine durchaus regelmässige ist. Obwohl ich diese Angelegenheit nicht in's Einzelne verfolgt, sondern wesentlich nur auf die verschiedene Erregbarkeit der weissen und rothen Muskeln geachtet habe, so halte ich mich doch für berechtigt, diese Behauptung auszusprechen.

Andere chemische Reize als gesättigte Kochsalzlösung habe ich nicht angewendet; sie werden sich wohl in der Hauptsache ähnlich dem Kochsalz verhalten, obwohl es keineswegs ausgeschlossen ist, dass gewisse chemische Reize die rothen Muskeln indirect besser und leichter erregen als die weissen.

1) Osswald, siehe oben S. 3, Anmerk. 4.

B. Directe Erregbarkeit.

I. Elektrische Reizung.

Obwohl nach der Anschauung von Grützner die verschiedenen physiologisch zusammengehörigen Nervmuskelgruppen, wie z. B. Beuger und Strecker, Oeffner und Schliesser unter sich gleichartige Erregbarkeitsverhältnisse darbieten, so dass den leichter erregbaren Nerven auch die leichter erregbaren Muskeln zugehören und umgekehrt, so darf dieser Satz doch nicht in der Weise verallgemeinert werden, dass auch gegenüber jedem directen künstlichen Reiz diese Gleichartigkeit vorhanden sein müsste. Thatsächlich lässt sich zeigen, dass da auffällige Verschiedenheiten bestehen, wie folgende Versuche beweisen.

Ich untersuchte zunächt die directe elektrische Erregbarkeit der verschiedenen Muskeln vermittelst constanter Ströme und verfüge da über ein sehr reiches Versuchsmaterial. Die Versuche wurden im Allgemeinen folgendermaassen angestellt:

Auf die blossgelegten Muskeln setzt man, wenn es sich um die Reizung mit constanten Strömen handelt, entweder beide unpolarisirbaren Elektroden oder nur eine Elektrode auf, während die andere (indifferente), ein dicker Metallstab, 5—10 cm tief in den After eingeführt ist. Bemerkt sei, dass bei letzterer Methode, wenn nicht auch diese indifferente Elektrode eine unpolarisirbare ist, der durch die Metalle und die Körperflüssigkeiten erzeugte Strom mitunter ausreicht, um wirksam zu reizen. Es empfiehlt sich daher, hier stets unpolarisirbare Elekroden oder solche von Zink zu verwenden.

Dabei zeigt sich, dass einige Zeit nach der Blosslegung der Muskeln ein nennenswerther Unterschied für die Erregbarkeit der rothen und weissen Muskeln für constante Ströme nicht vorhanden ist[1]). Im Uebrigen ist keineswegs die Erregbarkeit an allen Punkten desselben Muskels,

1) Vielfach findet man im Anfang des Versuches den rothen Muskel besser erregbar als den weissen, dann aber nach etwas längerer Versuchsdauer umgekehrt, den weissen besser erregbar als den rothen, was man früher als Regel ansah. Indessen ist bei meinen zahlreichen Versuchen, was ich auf den Wunsch von Herrn Prof. Grützner hier besonders betonen möchte, der obige Befund wohl die Regel. Da es sich bei den weissen Muskeln meistens um massenhafte Organe, bei den rothen aber um kleinere, fascienfreie Gebilde handelt, wäre schon hieraus dieser Wechsel der Erregbarkeit verständlich. (Vgl. S. 13.)

noch auch diejenige verschiedener, anatomisch gleichartiger Muskeln durchaus gleich, wie Aehnliches durch die sorgfältigen Untersuchungen Kühne's[1]) und seiner Schüler ja längst bekannt ist von den verschiedenen, selbst curarisirten Muskeln des Frosches.

Die verschiedene Erregbarkeit der von mir untersuchten Muskeln mag einmal liegen an der groben anatomischen Anordnung der einzelnen verschiedenen Muskelfasern, die ja in jedem Muskel in mannigfacher, wenn auch gesetzmässiger Weise vertheilt sind, dann an dem Vorhandensein von Sehnen und Aponeurosen, durch welche sich der Strom ausgleichen kann, ferner in den unvermeidlichen Verletzungen der Muskeln und schliesslich an der Vertheilung der Nerven in ihnen. Werden diese vom Strom getroffen, so ist die Erregbarkeit scheinbar erhöht. Und da selbst bei Ausschaltung der Nerven durch Curare wenigstens bei vielen Muskeln des Frosches die nervenreicheren Abschnitte desselben erregbarer sind als die nervenärmeren, so ist es begreiflich, dass die Grösse der wirksamen Reize innerhalb nicht unbedeutender Grenzen sich bewegt.

Verwendet man, was ich in den späteren Versuchen meistens gethan habe, einfache Zinkelektroden, die den unpolarisirbaren für unsern Zweck kaum nachstehen dürften, so genügte bei vier kleinen Daniells schon ein Widerstand von 4—5 Siemenseinheiten im Nebenschluss, um deutliche, freilich ganz schwache Zusammenziehungen bei Schliessung, manchmal auch bei Oeffnung des Stromes in beiden Muskeln hervorzurufen.

Derartige Versuche wurden in grosser Zahl an Kaninchen, Meerschweinchen und Ratten angestellt und immer zeigte sich bei sorgfältigem Experimentiren der eine Muskel dem andern in seiner Erregbarkeit nahezu gleich.

Dasselbe gilt auch für die Ströme der gewöhnlichen Inductionsapparate. Nennenswerthe regelmässige Unterschiede wurden nicht gefunden. Sehr häufig ist allerdings der rothe Soleus, namentlich für tetanisirende Reize, bemerkenswerther Weise besser erregbar als der weisse Gastrocnemius oder Peroneus. Der Unterschied ist freilich nur gering, aber, wenn vorhanden, doch deutlich. Bei einem Abstand der Rollen

1) W. Kühne, S. 581 oben genannter Arbeit und derselbe, Ueber die Wirkung des amerikan. Pfeilgiftes. Arch. f. Anat. u. Physiol. 1860 S. 477 (482), und S. Pollitzer, On Curare. Journ. of physiol. vol. 7 p. 274. 1885.

meines Inductionsapparates von 26—24 cm (ein Leclanché mit Eisenkern) traten einzelne Zuckungen (durch Oeffnungsinductionschläge) bezw. Tetanus ein und zwar im rothen bei den schwächeren Strömen. Tetanisirend wirkten bei letzteren oft noch schwächere Ströme.

Die bezüglichen Verhältnisse ändern sich nicht, wenn man die Thiere curarisirt. Freilich sinkt dann die directe Erregbarkeit für beiderlei Ströme oft recht bedeutend. So musste für Reizung mit constanten Strömen — wenn ich mich an obige Zahlen halte — der Nebenschluss auf etwa 7 Siemenseinheiten vergrössert und für Inductionsreize der Schlitten bis auf etwa 20 cm genähert werden, um kleinste Zuckungen oder Tetanus auszulösen. Diese Zahlen gelten dann wieder für die weissen und für die rothen Muskeln.

II. Mechanische Reizung.

Dass man durch allerhand mechanische Einwirkungen, welche die Muskelsubstanz unmittelbar treffen, diese zur Zusammenziehung bringen kann, ist allgemein bekannt. Schläge, Schnitte, Drücke, Quetschungen, die meistens mit mehr oder weniger bedeutender Schädigung der Musculatur einhergehen, sind solche Reize. Am Warmblüter, insonderheit an menschlichen Muskeln sind derartige Beobachtungen wohl selten, theils mehr gelegentlich, theils allerdings auch in methodischer Weise angestellt worden.

Die sorgfältigste und eingehendste, aber merkwürdiger Weise wenig bekannte Untersuchung über diesen Gegenstand dürfte von Auerbach[1]) herrühren, der im Anschluss an die Arbeiten von Kühne und Schiff diese Angelegenheit gerade an menschlichen Muskeln auf das genaueste untersucht hat. Er beschreibt als Erfolge mechanischer Reizungen im Wesentlichen Nachstehendes:

„Die erste Wirkung des Schlages mit einem Percussionshammer auf einen menschlichen Muskel, am besten auf einen solchen, der über eine knöcherne Unterlage gespannt ist, ist eine rasche Zuckung, d. h. Gesammtverkürzung der getroffenen Bündel. Diese gibt sich zu erkennen sowohl durch mechanische Effecte auf die Ansatzknochen, z. B. am Pectoralis major durch einen Ruck des Oberarms nach dem Rumpfe hin, an der Streckseite des Vorderarms durch ein Auf-

1) L. Auerbach, Ueber die Wirkungen topischer Muskelreizung. Abhandlungen der schles. Gesellsch. f. vaterl. Cultur. Abth. f. Naturw. u. Med. 1861 Heft 3 S. 291 und Zeitschr. f. ration. Medicin 3. Reihe Bd. 14 S. 215. 1862.

schnellen einzelner Finger u. s. w., als auch durch Formveränderung am Muskel selbst. Und zwar zeigen sich diese in zweierlei Weise. Die meisten Muskeln haben eine nach aussen gewölbte Oberfläche, und die oberflächlichen Bündel verlaufen daher in Bogen, deren Convexität der Haut zugewandt ist. Indem solche Bündel in der Verkürzung sich mehr gerade zu strecken suchen, drücken sie sich in die übrige Muskelmasse hinein und markiren sich äusserlich, da die Haut ihnen folgt, durch eine Furche. An anderen Muskeln ist gerade das Umgekehrte der Fall, z. B. am Platysma myoides. Die Bündel dieses Muskels laufen vom Schlüsselbein an aufwärts in Bogen, deren Concavität der Haut zugewandt ist; wenn daher eines sich contrahirt und geradestreckt, erhebt es die Haut in einer Längsfalte und tritt schnellend als ein dünner Strang hervor. Sowie diese Zuckung vorüber ist, sieht man, einem Schiff'schen idiomusculären Wulst entsprechend, an der percutirten Stelle selbst einen deutlichen, annähernd kegelförmigen Hügel, der an der Basis einige Linien breit und um so höher ist, je stärker man geklopft hat. Er besteht einige Zeit lang, meistens etwa 3—5 Secunden, ziemlich unverändert, und sinkt dann an derselben Stelle langsam wieder ein. Hierauf kann man ihn noch einige Zeit durch das Gefühl als einen Knoten im Muskel unterscheiden. Wenn man genau zusieht, so erkennt man meistens, dass dieser Hügel schon während der Zuckung entsteht. Man sieht ihn dann im ersten Momente nicht genau unter der percutirten Hautstelle, sondern, da die entsprechende Stelle des Muskels durch dessen Verkürzung nach dem Punctum fixum hingezogen wird, um mehrere Linien in dieser Richtung verschoben, sofort aber auch mit der Wiederverlängerung des Muskels in einem Ruck nach dem Ort der Percussion zurückkehren, an welchem er dann verharrt und wieder eingeht.

Diese beiden Formen von Contraction sind am Menschen sehr allgemein sichtbar, und zwar an sehr vielen Muskeln des Körpers. Ausnahmen bilden nur sehr fette oder wassersüchtige Individuen und zarte Kinder."

Bei manchen, aber seltenen Individuen — unter mehreren Hundert mageren, gesunden und kranken Personen fand Auerbach nur an vieren die zu besprechende Erscheinung — tritt nun zu diesen beiden Formen noch eine dritte, wellenartige Erscheinung hinzu, welche Auerbach jedoch auch bei diesen 4 Personen nur an zwei bestimmten Muskeln des Körpers, nämlich am Pectoralis major und

an der inneren Hälfte der Biceps auffinden konnte. „Um dieses Phänomen überhaupt zu erzielen, muss man schon recht stark klopfen, und zwar an einer Stelle, unter welcher ein Knochen liegt. Im günstigen Falle zeigen sich nun zunächst die beiden schon beschriebenen Contractionsformen; dann aber, wenn die Erschlaffung der zuckenden Bündel sich vollendet hat, sieht man dicht zu beiden Seiten des schon hervorgekommenen idiomusculären Hügels, zwei neue ähnliche, nur etwas niedrigere Erhebungen auftreten und sofort, ganz einer Welle auf ruhigem Wasserspiegel gleichend, mit sehr mässiger Geschwindigkeit nach beiden Muskelenden hinlaufen, bei welcher Wanderung sie allmälig niedriger werden, so dass sie manchmal schon unter der Haut verschwinden, bevor sie noch das Ende des Muskels erreicht haben. Eine rückläufige Bewegung dieser Wellen sah ich am Menschen nie. Diese Contractionswellen sind also deutliche, kleine, ziemlich scharf begrenzte Hügel, mit einer Basis, welche, in der Längsrichtung der Fasern betrachtet, gewöhnlich etwa 3 bis 6 Linien messen dürfte, und einem fast scharfkantigen Gipfel. Die Bewegung dieser Wellen ist eine so langsame, dass man sie mit dem Auge bequem verfolgen kann; ich schätze die Geschwindigkeit auf etwa 1—1½ Fuss pro Secunde."

Trotzdem hält Auerbach auch diese wellenförmige Bewegung für ein normales Vorkommen, da man sie sowohl an entblössten Muskeln von Thieren, wie am Menschen unter obigen Bedingungen erhalten kann.

Es ist nicht schwer, sich von der Richtigkeit der ersten Auerbach'schen Angaben zu überzeugen. Was zunächst die Versuche am Menschen anlangt, so habe ich an verschiedenen Personen mit Leichtigkeit sowohl die schnelle Zuckung, als auch bei stärkerem Schlag den idiomusculären Wulst beobachten können. Die langsam verlaufenden, wellenförmigen Contractionen habe ich nie gesehen, im Uebrigen mein Augenmerk auch nicht besonders auf dieselben gerichtet.

Um ein ungefähres Maass für die Stärke des zu einer Contraction nothwendigen Schlages zu haben, wurde mir von Herrn Prof. Grützner ein Fallhammer zur Verfügung gestellt, dessen eiserner Stiel für die schwereren Gewichte 28 cm lang und 3 mm dick war. Für die leichteren Gewichte war er eben so lang, aber nur 2 mm dick und bestand aus Aluminium. Die Hämmer hatten die Gestalt von stumpfen Keilen und ein Gewicht von 15—80 g.

Zur Verwendung kamen gewöhnlich drei von 19, 38 und 76 g. Die Hämmer fielen 3—25 cm hoch entweder auf den Biceps, Adductor pollicis, Extensor carpi radialis oder Triceps und lösten so die betreffenden Zuckungen aus. Dieselben blieben meistens örtlich beschränkt und setzten nur bei stärkeren Schlägen auch das Glied (Vorderarm, Daumen) in Bewegung.

Stärkere Schläge erzeugten ausser einer stärkeren Zuckung auch die idiomusculäre Contraction.

Auerbach gibt an, „dass nach einem sehr heftigen Schlage manchmal zwei solche Zuckungen (der ersten Art) rasch aufeinander folgen". Es ist nicht unwahrscheinlich, dass es sich hier um die aufeinanderfolgenden Zuckungen der weissen und rothen Antheile eines Muskels handelt; denn in vielfachen Versuchen an Thieren konnte von uns gezeigt werden, dass erst ein ziemlich starker Schlag mit einem kleinen Hämmerchen beiderlei Fasern, die rothen und die weissen, zu ausgiebiger und kräftiger Zusammenziehung bringt.

Nach unseren Beobachtungen ist die mechanische Erregbarkeit ausserordentlich verschieden, sowohl bei verschiedenen Personen, als auch bei verschiedenen Muskeln ein und derselben Person, was bei Berücksichtigung der anatomischen Verhältnisse leicht begreiflich ist. Ob es sich nebenher auch noch um specifische Verschiedenheiten der verschiedenen Muskeln handelt, darüber traue ich mir ein Urtheil nicht zu. Auch hat die Spannung einen grossen Einfluss.

Von den vielen Versuchen, welche wir an verschiedenen Muskeln des Armes und der Hand angestellt haben, seien einige ausführlicher mitgetheilt, wobei gleich von vornherein zu bemerken ist, dass die Grössen der nachbenannten Energien nur ungefähre Werthe darstellen. Denn wenn man auch die Grösse des fallenden Gewichtes genau bestimmen kann, so ist die Fallhöhe und namentlich die Art des Schlages nicht bei jedem Versuch ganz genau gleich zu machen. Schon eine geringe Verschiebung oder Verlagerung des Armes verändert die Grösse der Reize und auch vielfach den Ort ihrer Einwirkung, wenn man auch jedesmal den Ort des Schlages mit Tinte oder Tusche deutlich zu bezeichnen suchte. Dennoch kann man gewisse Grenzwerthe mit Sicherheit angeben.

Versuch.

Versuchsperson musculös, Arm gebeugt. 1. Auf den (schlaffen) Triceps (caput externum) fallen 76 g 10 cm, d. i. reizt eine Energie von 760 gcm und erzeugt eine deutliche Zuckung. Eine anscheinend ebenso grosse Zuckung wird

erzeugt durch 38 g 15 cm = einer Energie von 570 gcm. Die Zusammenziehung der getroffenen Muskelbündel macht sich bis an den Ellenbogen deutlich bemerklich. Der Arm wird hierauf ohne Widerstand gestreckt und dieselbe Stelle mit viel stärkeren Schlägen, 1520 gcm und mehr gereizt. Man kann mit Sicherheit keine Zuckung nachweisen. Wird die Spannung des Muskels noch mehr erhöht, indem man der Streckung einen Widerstand entgegensetzt, so erzeugen noch stärkere, vielleicht vorher wirksame Reize der fallenden Gewichte keine Wirkung.

2. Auf den äusseren Rand des Biceps (unteres Drittel) fallen dieselben Hammerschläge. 76 g 10 cm (760 gcm) geben eine deutliche Zuckung, 38 g 15 cm (570 gcm) eine unsichere, 38 g 20 cm (760 gcm) eine deutliche. Die Zuckung scheint etwas langsamer zu erfolgen als beim Triceps. Wurde der Biceps gespannt, so erzeugten selbst viel stärkere Schläge keine Zuckungen.

3. Am erregbarsten erwies sich der Extensor carpi radialis; fielen auf dessen oberes Drittel 38 g 5—10 cm hoch = 190—380 gcm, so zuckte er deutlich.

Viel kräftigere und viel deutlichere Zuckungen erhielt man ausnahmslos, wenn man mit dem keilförmigen Ende eines kleinen eisernen Hämmerchens die betreffenden Muskeln schnellend beklopfte.

Aus diesen und vielen anderen Versuchen (denn jeder Schlag wurde natürlich häufig wiederholt) ergiebt sich also, dass, bei Gewichten von 40—80 g, Energien von 190—760 gcm die kleinsten mechanischen Reizwerthe darstellen, welche einen schlaffen, mit Haut bedeckten menschlichen Muskel zu örtlicher Zusammenziehung bringen, und dass, wie es scheint, bei gleicher Energie die grössere Geschwindigkeit besser reizt. Hierfür spricht auch die Thatsache, dass verhältnissmässig sehr leichte, aber sehr schnelle Schläge mit einem kleinen Hämmerchen ausserordentlich viel stärkere Zuckungen auslösen als die fallenden Hämmer, deren Endgeschwindigkeit doch immer noch eine ziemlich mässige ist[1]).

Schliesslich entsteht noch die Frage, ob die von uns gesetzten mechanischen Reize lediglich Muskelreize sind oder ob sie nicht vielleicht durch Vermittelung der Nerven auf die Muskeln wirken. Ich bin zur Zeit nicht in der Lage, diese Frage zu entscheiden. Der Umstand aber, dass bei leichten Schlägen lediglich, soweit wir wenigstens sehen konnten, und auch Auerbach hervorhebt, die getroffenen Muskelfasern sich ihrer ganzen Länge nach zusammenzogen, spricht dafür, dass es sich um eine unmittelbare Muskelreizung handelt. Denn würde wesentlich ein grösserer, motorischer

1) Ein vollkommenerer Apparat, mit dem man bestimmte Energiemengen mit viel grösseren Endgeschwindigkeiten erzeugen kann, wird augenblicklich von Herrn Prof. Grützner angefertigt, war aber zur Zeit noch nicht gebrauchsfähig.

Nervenstamm durch den Schlag gereizt, so würden gemäss der Verbreitung dieses Nerven, die sich nicht gerade auf die jedesmal getroffenen Muskelbündel beschränkt, die Zusammenziehung eine ganz andere, viel allgemeinere sein: Nebenbei bemerkt ein Umstand, den bereits Harless[1]) bei anderweitigen, örtlichen Muskelreizungen festgestellt und in geistvoller Weise als einen vollgültigen Beweis einer specifischen Muskelerregbarkeit verwerthet hat.

Ich prüfte dann weiter die directe mechanische Erregbarkeit blossgelegter weisser und rother Muskeln von Kaninchen und Meerschweinchen. Mochten die Thiere curarisirt sein oder nicht, regelmässig war die mechanische Erregbarkeit der rothen Muskeln viel grösser als die der weissen. Obwohl mir hierfür keine messenden Apparate zur Verfügung standen, so konnte man doch beliebig oft sehen, dass ein sehr schwacher Schlag (mit dem Rücken eines Messers oder ganz leichten Hämmerchen) den rothen Soleus zur Zusammenziehung brachte, die benachbarten weissen Muskeln aber ruhig liess.

Schlug man dann etwas stärker, so zeigte sich weiterhin auf das Allerdeutlichste, dass schon verhältnissmässig schwache Schläge, welche die weissen Muskeln eben zucken liessen, einen gewaltigen idiomusculären Wulst auf dem rothen erzeugten. Derselbe blieb lange Zeit als ein derb anzufühlender Wulst bestehen und flachte sich ganz allmälig ab, ehe er vollkommen verschwand. Auch leichte Druckstriche erzeugten auf den rothen Muskel häufig den Wulst.

Erst viel stärkere Schläge riefen einen im Uebrigen viel geringfügigeren und schneller vorübergehenden idiomusculären Wulst auf den weissen Muskeln hervor, eine Erscheinung, die man als eine den beiden Muskeln eigenthümliche, nicht bloss durch die verschiedene Massenhaftigkeit der beiden Muskelarten bedingte, auffassen muss. Denn man könnte ja sagen, dass ein kleiner Muskel wie der Soleus durch dieselben Schläge kräftiger getroffen wird als etwa die grosse weisse Muskelmasse des Gastrocnemius.

Es macht daher fast den Eindruck, als ob bei manchen gemischten Muskeln, wie dem Zwerchfell, der inneren Seite der Bauchmuskeln, welche in Folge des Schiff'schen Druckstriches den idiomusculären

---

1) E. Harless, Gelehrte Anzeigen. Herausg. von der bayr. Akad. Bd. 37 S. 354. 1853, citirt nach L. Hermann, Physiologie Bd. 1 Th. 1 S. 86. 1879.

Wulst am deutlichsten zeigen, hier nur die rothen Fasern sich an dieser Erscheinung betheiligen. Für das leichte Zustandekommen desselben ist übrigens, worauf auch Auerbach hinweist, die Nacktheit des Mukels, wenn ich so sagen darf, d. h. das Fehlen jeglicher Fascien oder sehnigen Ausbreitung von der grössten Bedeutung. Diese bindegewebigen Häute erschweren oder verhindern das Zustandekommen des idiomusculären Wulstes in hohem Maasse.

III. Chemische Reizung.

Ueber die directe chemische Reizung habe ich nur wenig zu sagen. Ich habe nur Versuche an weissen und rothen Muskeln mit directer Reizung durch gesättigte Kochsalzlösung ausgeführt. Was ich sah, war stets Folgendes:

Streicht man mit einem Pinsel auf einen freipräparirten und nicht mit starkem Bindegewebe überzogenen weissen Muskel die gesättigte Kochsalzlösung auf, so beginnt nach wenigen Secunden oder Minuten ein ausgebreitetes Zittern und Flimmern der betroffenen Stelle und ihrer Umgebung, das mit der Zeit stärker wird. Bestreicht man in gleicher Weise den rothen Muskel (Soleus), so sieht man nichts, wenigstens konnten wir trotz aufmerksamsten Zusehens eine deutliche Zusammenziehung nicht wahrnehmen. Dass freilich der rothe Muskel hierbei gar nicht seine Form verändert, möchte ich nicht behaupten, aber von einer irgendwie ausgiebigen Bewegung haben wir nichts wahrgenommen. Wenigstens war dies die Regel. Selten wurden geringe, wogende Bewegungen beobachtet.

Jene Reizungen scheinen aber nervöser Natur zu sein; denn verfährt man in ganz gleicher Weise mit curarisirten Muskeln, so bleiben beide, rothe und namentlich auch weisse, vollkommen ruhig. Hiernach reizt also die gesättigte Kochsalzlösung, in der beschriebenen Weise angewendet, die Muskeln so wenig, dass man ausgiebige und deutliche Bewegungen ohne Weiteres nicht beobachten kann. Man muss offenbar viel feinere und messende Methoden anwenden, um die sicherlich vorhandenen Bewegungen nachzuweisen.

Die wesentlichen Ergebnisse meiner Untersuchungen sehe ich hiernach in folgenden Thatsachen:

1. Vom Nerven aus (indirect) gereizt, sind die weissen Muskeln durch elektrische, mechanische und chemische Reize leichter erregbar als die rothen.

Von beiden Muskeln erhält man secundäre Zuckung und secundären Tetanus.

2. Direct gereizt zeigen beide Muskeln gegenüber elektrischen Reizen keinen nennenswerthen Unterschied. Für tetanisirende Reize erweisen sich häufig die rothen als besser erregbar.

Mechanischen Reizen gegenüber ist dies in hohem Maasse der Fall. Namentlich ist der idiomusculäre Wulst hier sehr leicht zu erzeugen und ist für die rothen geradezu charakteristisch. Chemische Reize (gesättigte Kochsalzlösung) wirken auf die weissen bei erhaltenen motorischen Nerven viel kräftiger als auf die rothen. Sind die Nerven durch Curare gelähmt, so sind die Wirkungen auf beide Muskeln so unbedeutend, dass man sie ohne weitere Hülfsmittel gar nicht oder kaum wahrnehmen kann.

Pierer'sche Hofbuchdruckerei Stephan Geibel & Co., Altenburg.